

28. Тур В. В., Марковский Д. М. Назначение испытательных коэффициентов по результатам статического моделирования// Строительная наука и техника. №5(9), 2006.
29. Д. Д. Сергеев. Краткий обзор отчета об аварии 22-этажного жилого дома в Лондоне. Обзорная информация №2. М., ГлавАПУ, 1969.
30. Разработка и исследование усовершенствованной системы конструктивных связей между сборными элементами панельных зданий унифицированной конструкции с целью повышения их надежности и улучшения технико-экономических характеристик. Научно-технический отчет МНИИТЭП, шифр НИ-1696М, 1976.
31. Report of the Inquiry into the Collapse of Flats at Ronan Point, Canning Town; MSO, 1968 (НИИС, перевод 18736).
32. Ellingwood B. R. Load and Resistance Factor Criteria for Progressive Collapse Design/ Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA, 2005.
33. Ellingwood B. R., Leyendecker E. V., Approaches for Design against Progressive Collapse/ J. Struct. Div., ASCE 104 (3); 1978: p. 413-423.
34. Ellingwood B. R. Acceptable risk bases for design of Structures/ Progress in Struct. Engng. and Mat., 2001, 3(2): 170-179 p.
35. Stewart, M. G., Melchers R., E. Probabilistic risk assessment of engineering system/ Chapman Hall, London, 1997.
36. Starossek U., Wolf M., Design of Collapse – resistant structure, ICSS and IA BSE Workshop on Robustness of Structure, 2005.
37. Progressive Collapse Analysis and design guidelines for new federal office Buildings and major modernization projects, June 2003, U. S. General Service Administration and Applied Research Associates.
38. Milchers, R. E., Structural reliability – analysis and prediction, John Wiley, 1999.
39. National Workshop on Prevention of Progressive Collapse, the UK and European Regulation for Accidental Actions, D. B. Moore, 2002.
40. Best Practices for Reducing the Potential for Progressive Collapse in Buildings/ NISTIR/ B. R. Ellingwood, R. Smilowitz, D. Dusenberry, D. Duthinh, August, 2006.
41. Wolinski S. Analiza ryzyka a niezawodnosc konstrukcji budowlanych/ Inzynieria i Budownictwo, №5, 2006 – p. p. 270-274.
42. Li H. X., Yen C. V.: Fuzzy sets and fuzzy decisions – making. CRC Press, Boca Raton, New York, 1995.
43. Bazant Z. Why did the World Trade Center Collapse – Symple Analysis/Journ. Of Engineering Mechanics/January 2002, vol. 128, №1.
44. Тур, В. В., Тур, А. В., Марковский, Д. М. Основы проектных стратегий, применяемых для защиты зданий от прогрессирующего обрушения //Строительная наука и техника.- 2007.- №6.- с. 11-27.
45. Park, S. Efficient method for calculation of system reliability of a complex structure/ S. Park, S. Choi, C. Sikorsky, N. Stubbs// International Journal of Solids and Structures.- 2004. - №41. – p. 5035-5050.
46. Starossek, U. Typology of progressive collapse/ U. Starossek// Engineering Structures. – 2007. – vol. 29. – № 9. – pp. 2302-2307.

Материал поступил в редакцию 31.03.08

TUR V.V., MARKOVSKI D.M., TUR A.V. The strategy of management of risks progressing falls at designing buildings and structures

This paper presents some scientifically justified statements being the basic for development of design strategies directed to protection of buildings from progressive (disproportionate) collapse. The characteristic of abnormal (specific) actions have been given and the classification has been made, the rules of making design combinations when performing check calculations have been considered.

Basic definitions and terms relating to the issues under consideration have been given and provisions showing occasional (probability) character of the progressive collapse have been shortly presented. Indissoluble connections of this phenomenon with structural safety and risks to which constructions are subjected have been shown.

УДК 624.012.45.001.24

Лукша Л.К.

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ СТАЛЕБЕТОННОЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ АТОМНОГО РЕАКТОРА АЭС НА ВОЗДЕЙСТВИЕ МОНТАЖНЫХ УСИЛИЙ

Введение. Двухслойный сталебетонный элемент с предварительным продольным и поперечным напряжением наружного бетонного слоя защитной оболочки может претерпевать два вида напряженного состояния.

Первый вид, когда внутренняя стальная труба испытывает только поперечное (радиальное) обжатие при отсутствии в ней продольных напряжений. Этот случай имеет место в верхней части цилиндрической оболочки вследствие того, что продольное обжатие, передающееся на стальной слой за счет трения, еще не велико.

Второй случай, имеющий место в средней и нижней части защитной цилиндрической оболочки, где действуют продольные силы как в бетоне так и стальном слое.

Рассмотрим расчет прочности двухслойной оболочки для первого случая напряженного состояния (рис. 1).

Цель работы. Цель состоит в разработке метода определения предельного поперечного напряжения σ_0 . Знание этого напряжения необходимо для проверки прочности бетонного и стального слоев, претерпевающих сложное напряженное состояние, и, кроме того, для последующего расчета оболочки на внутреннее рабочее давление.

Действие продольного преднапряжения P_{el} и поперечного предварительного напряжения P_{et} обуславливают появление поперечного напряжения, взаимодействия между слоями элемента σ_0 .

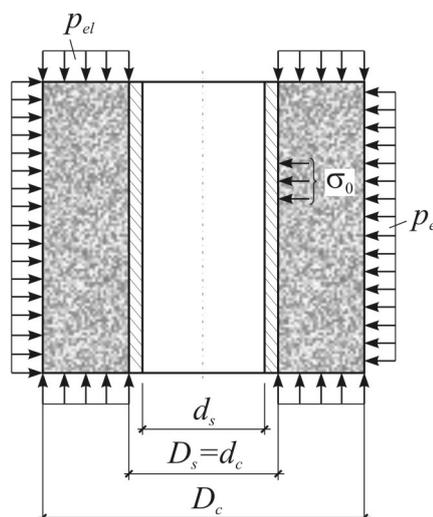


Рис. 1. Действие монтажных сил на двухслойную защитную оболочку

Исходные предположки

- элемент нагружается кратковременными, статическими монтажными силами;
- стальной (внутренний) слой подчиняется линейному критерию текучести;
- бетонный (наружный) слой подчиняется линеаризованному критерию прочности;

Лукша Леонид Константинович, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки БССР.

- осевая продольная сила распределена равномерно по всему поперечному сечению бетонного слоя;
- стальной слой сопротивляется только в поперечном направлении, продольная сила в этом слое равна нулю;
- оба слоя взаимодействуют только в поперечном направлении, в продольном направлении имеет место скольжение между слоями;
- зависимости между напряжениями и деформациями для обоих слоев подчиняются закону Гука;
- в поперечном направлении существует непрерывность перемещений обоих слоев;
- в предельном состоянии стальной слой испытывает двухосное сжатие, наружный бетонный слой претерпевает трехосное неравномерное сжатие.

Решение задачи. Задача решается с помощью алгоритма расчета прочности слоистого сталебетона [1]. Математическая модель представляется следующим образом

$$\rho \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho - \sigma_\theta = 0, \quad (1)$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 - f_{ys} = 0, \quad (2)$$

$$\sigma_1 - K\sigma_3 - f_{cd} = 0, \quad (3)$$

$$\varepsilon_s - \varepsilon_c = 0, \quad (4)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} \left[\sigma_z - \nu (\sigma_\rho + \sigma_\theta) \right]. \quad (5)$$

В дифференциальном уравнении равновесия (1): ρ – текущий радиус элементарного волокна стального слоя; σ_ρ – текущее радиальное напряжение, соответствующее ρ ; σ_θ – текущее кольцевое напряжение в элементарном волокне стального слоя.

Уравнение (2) – линейный критерий текучести стали: f_{ys} – предел текучести либо расчетная характеристика стали; σ_1, σ_3 – экстремальные главные напряжения в стальном слое.

Уравнение (3) – линеаризованный критерий прочности бетона: f_{cd} – прочность бетона при одноосном сжатии либо расчетная характеристика бетона при сжатии; σ_1 – максимальное главное напряжение в бетонном слое; σ_3 – минимальное главное напряжение в бетонном слое; K – коэффициент эффективности бокового давления для бетона при трехосном цилиндрическом сжатии, в первом приближении $K = 4$, в последующих приближениях

$$K = 10 - 100\sigma_0 / (f_{cd} + 15\sigma_0), \quad (6)$$

где σ_0 – боковое давление, равное $\sigma_2 = \sigma_3$.

В уравнениях (4) и (5): $\varepsilon_s, \varepsilon_c$ – относительные деформации бетона и стали; E – модуль упругости материалов слоев; $\sigma_z, \sigma_\rho, \sigma_\theta$ – главные напряжения в цилиндрической системе координат; ν – коэффициент Пуассона материалов слоев.

Рассмотрим условие непрерывности перемещений (4). Следуя рис. 1 и принятым предположениям, из (4) получаем

$$E_c \left[-\sigma_{sz} - \nu_s (-\sigma_\rho - \sigma_\theta) \right] = E_s \left[-f_{cd} - K(\sigma_\rho - p_{et}) - p_{el} - \nu_c \left(-\sigma_\rho + \frac{\sigma_\rho - \beta_c p_{et}}{\beta_c - 1} \right) \right], \quad (7)$$

где $\beta_c = D_c / d_c$ (см. рис. 1); p_{el}, p_{et} – продольное и поперечное преднапряжения бетонного слоя (см. рис. 1).

Решая (7) относительно осевого напряжения в стальном слое и помня, что оно, согласно предположению 5, равно нулю, имеем

$$\sigma_{sz} = A\sigma_\rho + \nu_s\sigma_\theta + \alpha f_{cd} + \alpha p_{el} - \alpha K p_{et} - \frac{\alpha \nu_c p_{et} \beta_c}{\beta_c - 1} = 0, \quad (8)$$

где $A = \nu_s + \alpha [K - \nu_c(2 - \beta_c) / (\beta_c - 1)]$, $\alpha = E_s / E_c$.

Критерий текучести (2) в соответствии с принятыми предположениями запишется в виде

$$-\sigma_\theta = -f_{ys}. \quad (9)$$

Знак "минус" в правой части (9) означает сжатие.

Решая систему уравнений (8) и (9), находим кольцевое напряжение в элементарном волокне стального слоя

$$\sigma_\theta = \frac{F - A\sigma_\rho}{B}, \quad (10)$$

где

$$F = f_{ys} + \alpha [p_{et}(K + \nu_c\beta_c / (\beta_c - 1)) - f_{cd} - p_{el}], \quad (11)$$

$$B = 1 + \nu_s.$$

Подставляя найденное значение кольцевого напряжения в элементарном волокне стального слоя из (10) в уравнение равновесия (1) и разделяя переменные, имеем

$$\int \frac{d\rho}{\rho} = \int \frac{B d\sigma_\rho}{F - (A + B)\sigma_\rho}. \quad (12)$$

Интегрируя (12), после рассмотрения начальных и граничных условий, находим

$$\sigma_\rho = \frac{F}{A + B} \left[1 - \beta_s \frac{(A+B)}{B} \right], \quad (13)$$

либо в развернутом виде

$$\sigma_\rho = \frac{f_{ys} + \alpha [p_{et}(K + \nu_c\beta_c / (\beta_c - 1)) - f_{cd} - p_{el}]}{2\nu_s + \alpha [K - \nu_c(2 - \beta_c) / (\beta_c - 1)] + 1} \times \left[1 - \beta_s \frac{2\nu_s + \alpha [K - \nu_c(2 - \beta_c) / (\beta_c - 1)] + 1}{1 + \nu_s} \right]. \quad (14)$$

Учитывая, что в предельном состоянии $\nu_s = \nu_c = 0,5$, окончательно имеем

$$\sigma_\rho = \frac{f_{ys} + \alpha [p_{et}(K + 0,5\beta_c / (\beta_c - 1)) - f_{cd} - p_{el}]}{\alpha [K - 0,5(2 - \beta_c) / (\beta_c - 1)] + 2} \times \left[1 - \beta_s \frac{\alpha [K - 0,5(2 - \beta_c) / (\beta_c - 1)] + 2}{1,5} \right]. \quad (15)$$

где $\beta_s = D_s / d_s$.

Далее производится проверка прочности обоих слоев элемента, пользуясь критериями текучести стали и прочности бетона [2]. Фактические кольцевые напряжения в бетонном слое при этом рассчитываются по формулам Ляме для толстостенных сосудов.

Указания к составлению и решению примера расчета

1. Задаются геометрическими размерами (на основе опыта проектирования).
2. Принимают класс бетона и марку стали согласно нормам проектирования.

3. Принимают величины предварительного напряжения p_{el} и p_{et} .

4. Вычисляют напряжение σ_0 по формуле (15).

5. Вычисляют кольцевые напряжения по формулам Ляме (по-видимому, достаточно трех точек: на внутренней, внешней и срединной поверхности бетонного слоя).

6. Вычисляют кольцевые напряжения в тех же точках из гиперболического критерия прочности бетона [2]

$$\tau_{\beta} = \tau_{+} + (\tau_{-} - \tau_{+}) \left(\frac{1 - \mu}{\sqrt{3 + \mu^2}} \right)^3, \quad (16)$$

либо

$$(\tau_{\beta} - \tau_{+})(3 + \mu^2)\sqrt{3 + \mu^2} - (\tau_{-} - \tau_{+})(1 - \mu)^3 = 0, \quad (16)$$

что то же самое, здесь

$$\tau_{\beta} = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}, \quad (17)$$

$$\tau_{+} = \sqrt{\frac{6\sigma_{oct} [(\lambda - 1)(a + 0,5\lambda)\sigma_{oct} + (f_c - f_t)(1 + 0,5\lambda)] + (a + 0,5\lambda)f_c f_t}{6(1 + 0,5\lambda)(a + 0,5\lambda)}}. \quad (18)$$

$$\sigma_{oct} = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3), \quad (19)$$

$\lambda = 1,25$, $a = 3,03124$

f_c , f_t – пределы прочности при одноосном напряженном состоянии или нормативные сопротивления;

$$\mu = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}, \quad (20)$$

$$\tau_{-} = \sqrt{\frac{3\sigma_{oct} [(\varphi - 1)\sigma_{oct} + f_c - f_t] + f_c f_t}{3(1 + 0,5\varphi)}}, \quad (21)$$

$$\varphi = 2 \frac{3\chi - m}{3\chi + m},$$

$\chi = f_c / f_t$ – параметр хрупкости; $m = 2$ – класс материала (тяжелый бетон); σ_1 , σ_2 , σ_3 – главные напряжения в бетонном слое ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$).

Максимальное напряжение σ_1^{cr} вычисляют из критерия (16), приняв $\sigma_3^{cr} = \sigma_0$, $\sigma_2^{cr} = p_{el}$, если $\sigma_0 < p_{el}$ – для внутренней поверхности.

Для наружной поверхности $\sigma_3^{cr} = p_{el}$, $\sigma_2^{cr} = p_{et}$, σ_1^{cr} – из критерия (16).

Для срединной поверхности $\sigma_3^{cr} = p_{el}$, $\sigma_2^{cr}(\sigma_0, p_{et})$ – по формуле Ляме, σ_1^{cr} – из критерия (16).

Все три критериальных значения напряжений сравнивают с кольцевыми напряжениями по Ляме в трех упомянутых точках. Делают выводы. Фактические (по Ляме) напряжения не должны превышать критериальных (предельных).

Стальной слой тоже должен быть проверен хотя бы на прочность.

Проверка устойчивости стального слоя, сопряженного с бетонным, это самостоятельная работа, еще, по-видимому, не решенная.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лукша, Л.К. Алгоритм расчета прочности слоистого сталебетона / Л.К. Лукша, В.В. Тур // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – 2007. – №1. – С. 106–109.
2. Лукша, Л.К. Гиперболические критерии прочности хрупких материалов / Л.К. Лукша // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь. Сб. научных трудов Международного научно-методического межвузовского семинара. – Могилёв: Белорусско-Российский университет, 2005. – С. 29–39.

Материал поступил в редакцию 07.04.08

LUKSHA L.K. Account of durability steel of a concrete protective environment nuclear reaktor aes on influence of assembly efforts

In clause the method of account of durability two-layer steel of a concrete protective environment nuclear reaktor AES for a case of absence of axial pressure in a steel layer is given.

УДК 624.012.45.001.24

Лукша Л.К.

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СЛОИСТЫХ СТАЛЕБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТИПА "ТРУБА В БЕТОНЕ"

Введение. Большинство решений с помощью алгоритма расчета прочности слоистого сталебетона [1] научных задач касается несущих элементов слоистых сталебетонных конструкций, сформированных по типу "бетон в трубе". Однако в практике строительства имеют место и элементы, сформированные по типу "труба в бетоне". К ним, например, относятся трехслойные сталебетонные элементы, в которых внутренняя стальная труба заключена в бетонный промежуточный слой, защитные сталебетонные оболочки корпусов ядерных реакторов, стенки сталебетонных корпусов ядерных реакторов АЭС и т.п. Теория расчета прочности таких элементов еще не разработана. Между тем, упомянутый алгоритм [1] позволяет решать такие научные задачи. Покажем это на примере.

Постановка задачи. Пусть имеем слоистый сталебетонный элемент, фрагмент которого показан на рис. 1. Элемент нагружается давлением p_{ext} от предварительного напряжения и осевой продольной силой N по типу жесткого штампа. Требуется найти осевую несущую способность N двухслойного элемента при заданных ме-

хано-геометрических параметрах соответствующих слоев и внешнем обжатии p_{ext} (от поперечного предварительного напряжения бетонного слоя, либо от бокового давления наружной стальной трубы).

Решение задачи. Для решения поставленной задачи принимаются следующие предпосылки:

- элемент нагружается статической кратковременно действующей центральной приложенной сжимающей продольной силой N ;
- бетон – упруго-пластический, изотропный материал, подчиняющийся линейному либо линеаризованному критериям прочности;
- материал стального слоя подчиняется линейному критерию текучести;
- зависимости между напряжениями и деформациями стали и бетона подчиняются обобщенному закону Гука;
- осевая сила приложена к обоим слоям по типу жесткого штампа;
- осевые укорочения обоих слоев равны между собой;
- бетонный слой не работает на растяжение при действии давления от стального слоя в связи с малой растяжимостью бетона;